

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 636 740**

51 Int. Cl.:

**E04C 5/01**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.06.2010 PCT/EP2010/058292**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.12.2010 WO10142807**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.06.2010 E 10725164 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.07.2017 EP 2440717**

54 Título: **Fibras de alargamiento elevado para hormigón convencional**

30 Prioridad:

**12.06.2009 EP 09162570**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**09.10.2017**

73 Titular/es:

**NV BEKAERT SA (100.0%)  
Bekaertstraat 2  
8550 Zwevegem, BE**

72 Inventor/es:

**LAMBRECHTS, ANN**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**Observaciones:**

**Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes**

**ES 2 636 740 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Fibras de alargamiento elevado para hormigón convencional

5 Campo técnico

Esta invención se refiere a una estructura de hormigón de un hormigón convencional reforzada con un nuevo tipo de fibras de acero. Las fibras de acero se caracterizan por un alargamiento elevado.

10 Antecedentes en la materia

Es bien conocido cómo reforzar hormigón o mortero con fibras de acero para mejorar la calidad del hormigón o mortero. Las fibras de acero se utilizan, por ejemplo, para reforzar el hormigón convencional.

15 El término "hormigón convencional" se refiere a un hormigón que tiene una resistencia a la compresión inferior a 75 MPa (1 MPa = 1 Mega-Pascal = 1 Newton/mm<sup>2</sup>), por ejemplo, inferior a 70 MPa y preferentemente inferior a 60 MPa.

20 El documento EP-B1 -0851957 (NV Bekaert SA) describe una estructura de hormigón de un hormigón convencional de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 y una fibra de acero con extremos en forma de gancho aplanados, por lo que se mejora enormemente la resistencia a la flexión post-fisura del hormigón, reforzado por medio de tales fibras.

25 El documento US-A-4883713 (Eurosteel) enseña una fibra de acero que comprende un cuerpo de acero cilíndrico que tiene extremos de forma cónica para mejorar la característica de anclaje de la fibra de acero en el hormigón reforzado con fibra de acero.

30 Estos dos documentos citados, así como otros documentos, ya enseñan que las propiedades del hormigón convencional de fibra de acero se pueden mejorar enormemente gracias a las características de anclaje mejoradas de las fibras de acero al hormigón.

35 En la actualidad, las fibras de acero conocidas de la técnica anterior para el refuerzo de hormigón funcionan muy bien para mejorar el estado límite de capacidad de servicio (SLS) de una estructura de hormigón, es decir, puentean muy bien las fisuras o desplazamientos de la abertura de la boca de la fisura (CMOD) inferior o igual a 0,5 mm, por ejemplo, CMOD que oscilan entre 0,1 mm y 0,3 mm, durante un ensayo típico de flexión de tres puntos -para el ensayo véase la norma europea EN 14651 - Método de ensayo para hormigón metálico con fibras, medición de la resistencia a la tracción por flexión. En otras palabras, las fibras de acero conocidas como fibras de acero con extremos en forma de gancho aplanado y fibras que tienen extremos de forma cónica funcionan bien para limitar la anchura o crecimiento de fisuras de hasta aproximadamente 0,5 mm (SLS).

40 La desventaja actual con estas fibras es su rendimiento relativamente bajo en el estado final (ULS). Especialmente, la relación entre el estado límite final (ULS) y el estado límite de capacidad de servicio (SLS) después de la fisuración es relativamente baja. Esta relación está determinada por el valor de carga  $F_{R,1}$  (CMOD = 0,5 mm) y  $F_{R,4}$  (CMOD = 3,5 mm).

45 Algunas fibras de la técnica anterior no funcionan en ULS puesto que se rompen a CMOD más bajas de lo que se requiere para el ULS. Otras fibras, como las fibras con extremos en forma de gancho, están diseñadas para su extracción. Debido a la extracción, estas fibras muestran un comportamiento de desplazamiento-ablandamiento ya para pequeños desplazamientos.

50 A pesar de este bajo rendimiento en ULS, las fibras de acero conocidas actualmente también se pueden usar en las denominadas aplicaciones estructurales para mejorar el estado límite final (ULS). En este caso, se espera que las fibras de acero conocidas soporten o sostengan la carga, en lugar de o además del refuerzo clásico, tal como la varilla de refuerzo, la malla, el pretensado y post-tensado. Sin embargo, para ser efectivas en dicha función de carga, estas fibras de acero tienen que utilizarse en dosis enormes que exceden considerablemente las dosis normales de 20 kg/m<sup>3</sup> a 40 kg/m<sup>3</sup>. Las dosis enormes pueden causar problemas de trabajabilidad tales como problemas de mezcla y colocación.

55 Divulgación de la invención

60 Un objeto de la presente invención es proporcionar una estructura de hormigón convencional reforzada con un nuevo tipo de fibras de acero capaz de cumplir una nueva función una vez embebida en hormigón convencional.

65 Un objeto de la presente invención es proporcionar una estructura de hormigón con un nuevo tipo de fibra de acero que sea capaz de puentear permanentemente los desplazamientos de la abertura de la boca de la fisura superiores a 0,5 mm durante el ensayo de flexión de tres puntos de acuerdo con la norma europea EN 14651 (Junio de 2005).

Otro objeto de la presente invención es proporcionar una estructura de hormigón con un nuevo tipo de fibras de acero que soportan cargas en aplicaciones estructurales sin requerir altas dosificaciones.

5 De acuerdo con la presente invención, se proporciona una estructura de hormigón de un hormigón convencional de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende fibras de acero. La fibra de acero tiene una porción media y dos extremos, es decir, un primer extremo en un lado de la porción media y un segundo extremo en el otro extremo de la porción media.

10 La fibra de acero tiene un diámetro comprendido entre 0,4 mm y 1,20 mm y una relación longitud/diámetro L/D de 40 a 100.

15 Los dos extremos son extremos de anclaje para el anclaje de la fibra de acero en el hormigón. Los extremos de anclaje se seleccionan del grupo que consiste en extremos ensanchados que están configurados cónicamente, extremos de recalcado en frío, extremos doblados, extremos ondulados o cualquier combinación de los mismos.

La porción media tiene una resistencia a la tracción  $R_m$  (en MPa) de al menos 1000 MPa.

20 Además, la fibra de acero de acuerdo con la presente invención y más en particular la porción media de la fibra de acero de acuerdo con la presente invención tiene un alargamiento a carga máxima  $A_{g+e}$  que es al menos del 4 %.

Alargamiento a carga máxima

25 En el contexto de la presente invención, se utiliza el alargamiento a carga máxima  $A_{g+e}$  y no el alargamiento a la rotura  $A_t$  para caracterizar el alargamiento de una fibra de acero, más en particular de la porción media de una fibra de acero.

La razón es que una vez que se ha alcanzado la carga máxima, comienza la constricción de la superficie disponible de la fibra de acero y no se absorben cargas más altas.

30 El alargamiento a carga máxima  $A_{g+e}$  es la suma del alargamiento plástico a carga máxima  $A_g$  y el alargamiento elástico.

35 El alargamiento a carga máxima no comprende el alargamiento estructural que puede deberse al carácter ondulado de la porción media de la fibra de acero (si la hubiera). En el caso de una fibra de acero ondulada, primero se endereza la fibra de acero antes de medir el  $A_{g+e}$ .

El alargamiento a carga máxima  $A_{g+e}$  de la porción media de una fibra de acero de acuerdo con la presente invención es al menos del 4 %.

40 De acuerdo con realizaciones particulares de la presente invención, la porción media de la fibra de acero tiene un alargamiento a una carga máxima  $A_{g+e}$  superior al 4,25 %, superior al 4,5 %, superior al 4,75 %, superior al 5,0 %, superior al 5,25 %, superior al 5,5 %, superior al 5,75 % o incluso superior al 6,0 %.

45 El alto grado de alargamiento a carga máxima  $A_{g+e}$  puede obtenerse aplicando un tratamiento particular de alivio de tensiones tal como un tratamiento térmico a los cables de acero de los que se fabricarán las fibras de acero.

50 Las fibras de acero convencionales están fabricadas de cable con un alargamiento relativamente pequeño a la carga máxima  $A_{g+e}$  (alargamiento a carga máxima  $A_{g+e}$  de un máximo del 2 %). Así, las fibras convencionales de acero en hormigón convencional están diseñadas para ser extraídas de la matriz (fibras con extremos con forma de gancho).

Otras fibras de acero conocidas en la técnica no funcionan en ULS a medida que se rompen a CMOD inferiores a lo que se requiere para ULS. Ejemplos de tales fibras de acero son fibras de acero con extremos de forma cónica.

55 Las fibras dentro de esta invención son alargadas debido al cable de acero con un gran alargamiento a carga máxima  $A_{g+e}$ . Se elongan y no se rompen antes de alcanzar el ULS. Además, como las fibras dentro de la presente invención tienen una resistencia a la tracción elevada, el hormigón reforzado con este tipo de fibras de acero puede soportar cargas elevadas.

60 Los altos valores de alargamiento del cable a máxima carga deben permitir puentear desplazamientos de la abertura de la boca de la fisura superiores a 0,5 mm y deben permitir absorber cargas en lugar del refuerzo tradicional o además del refuerzo tradicional a niveles de dosificación normales. Así, el nuevo tipo de fibra de acero mejora el estado límite final (ULS) de las estructuras de hormigón. Las nuevas fibras no solo mejoran la durabilidad sino que también mejoran la capacidad de carga o carga.

65

## ES 2 636 740 T3

### Resistencia a la tracción $R_m$

5 Una fibra de acero dentro de la presente invención, es decir, la porción media de una fibra de acero de acuerdo con la presente invención preferentemente tiene una resistencia a la tracción  $R_m$  elevada. La resistencia a la tracción  $R_m$  es la mayor tensión que soporta la fibra de acero durante un ensayo de tracción.

10 La resistencia a la tracción  $R_m$  de la porción media de la fibra de acero (es decir, la capacidad máxima de carga  $F_m$  dividida por la sección original de la fibra de acero) es superior a 1000 MPa, y más en particular superior a 1400 MPa, por ejemplo superior a 1500 MPa, por ejemplo, superior a 1750 MPa, por ejemplo superior a 2000 MPa, por ejemplo superior a 2500 MPa.

La alta resistencia a la tracción de las fibras de acero dentro de la presente invención permite que las fibras de acero soporten cargas elevadas.

15 Por lo tanto, una mayor resistencia a la tracción se refleja directamente en una dosificación más baja de las fibras, necesaria en el hormigón convencional.

20 Debido a la alta ductilidad o el gran alargamiento de las fibras de acero de acuerdo con la presente invención, las fibras no se romperán a CMOD superiores a 1,5 mm, superiores a 2,5 mm o superiores a 3,5 mm en el ensayo de flexión de tres puntos de acuerdo con la norma EN 14651.

25 La alta ductilidad o alargamiento de la fibra de acero permite que las fisuras con aberturas más anchas se puedan puentear y que la resistencia post-fisuración del hormigón después de la aparición de fisuras se incremente con el aumento del ancho de fisura. O una vez que el hormigón se ha fisurado, el hormigón reforzado con fibra muestra un comportamiento de rigidez a la flexión.

30 La fibra de acero comprende una porción media y extremos de anclaje para anclar la fibra de acero al hormigón o mortero. La fuerza de anclaje de la fibra de acero al hormigón o mortero preferentemente es superior al 50 % de la capacidad de carga máxima  $F_m$  de la porción media de la fibra de acero. La fuerza de anclaje se determina por la carga máxima que se alcanza durante un ensayo de extracción. Para este ensayo de extracción, una fibra de acero está incrustada con un extremo en el hormigón o el mortero. El ensayo se describe con más detalle.

35 De acuerdo con realizaciones preferidas de la invención, las fibras de acero tienen una fuerza de anclaje más alta, por ejemplo una fuerza de anclaje superior al 60 %, superior al 70 % o superior al 80 % de la capacidad de carga máxima  $F_m$ .

Más preferentemente, la fuerza de anclaje de la fibra de acero en el hormigón o mortero es incluso superior al 90 %, por ejemplo superior al 92 %, 95 %, 98 % o incluso superior al 99 %.

40 Cuanto mayor sea grado de anclaje de las fibras de acero al hormigón o mortero, mayor será la resistencia residual del hormigón o mortero. Cuanto mejor se evite que las fibras de acero se salgan del hormigón, mejor se usará la fuerza completa de la porción media de la fibra de acero.

45 Por ejemplo, en el caso de que la fuerza de anclaje de la fibra de acero al hormigón o mortero sea del 90 %; se puede usar el 90 % de la fuerza total de la porción media de la fibra de acero.

El alto grado de anclaje en el hormigón se puede obtener de diferentes maneras, como por ejemplo agrandando los extremos, por recalcado en frío, haciendo ganchos pronunciados a los extremos de las fibras de acero, ondulando los extremos o por combinaciones de estos.

50 Los extremos de anclaje son, por ejemplo, extremos de anclaje ensanchados, extremos de anclaje de recalcado en frío, extremos de anclaje doblados, extremos de anclaje ondulados o cualquier combinación de los mismos.

55 El mecanismo por el cual algunos extremos proporcionan un mejor anclaje que otros no se entiende completamente y el grado de anclaje no se puede predecir, por ejemplo, mediante modelado matemático. Por lo tanto, de acuerdo con la presente invención se propone determinar la fuerza de anclaje de una fibra de acero insertando la fibra de acero provista con un extremo en hormigón o mortero y sometiendo la fibra de acero a un ensayo de extracción (ensayo de carga-desplazamiento).

60 Las fibras de acero, más en particular la porción media de las fibras de acero normalmente tienen un diámetro  $D$  que oscila de 0,4 mm a 1,20 mm. En caso de que la sección transversal de la fibra de acero y más en particular de la porción media de la fibra de acero no sea redonda, el diámetro es igual al diámetro de un círculo con la misma superficie que la sección transversal de la porción media de la fibra de acero.

Las fibras de acero, más en particular la porción media de las fibras de acero normalmente tienen una relación  $L/D$  de longitud a diámetro comprendida entre 40 y 100.

65 La porción media de la fibra de acero puede ser recta o rectilínea; o puede ser sinuosa u ondulado.

La estructura de hormigón tiene una resistencia residual media después de la fisuración a ULS superior a 3 MPa, por ejemplo superior a 4 MPa, por ejemplo superior a 5 MPa, 6 MPa, 7 MPa, 7,5 MPa.

5 La dosificación de fibras de acero en la estructura de hormigón preferentemente es pero no necesariamente inferior a  $80 \text{ kg/m}^3$ , preferentemente inferior a  $60 \text{ kg/m}^3$ . La dosificación de las fibras de acero en el hormigón puede variar desde normalmente  $20 \text{ kg/m}^3$  a  $50 \text{ kg/m}^3$ , por ejemplo de  $30 \text{ kg/m}^3$  a  $40 \text{ kg/m}^3$ .

Breve descripción de las figuras en los dibujos

10 La invención se explicará adicionalmente en la siguiente descripción por medio del dibujo adjunto, en el que:

- La Figura 1 ilustra un ensayo de tracción (ensayo de carga-deformación) de una fibra de acero;
- La Figura 2 ilustra un ensayo de extracción (ensayo de carga-desplazamiento) de una fibra de acero incrustada en hormigón o mortero;
- 15 - La Figura 3 muestra la curva de carga-deformación de una fibra de acero de la técnica anterior y una fibra de acero de acuerdo con la presente invención;
- Las Figura 4a, Figura 4b y Figura 4c son ilustraciones de fibras de acero de acuerdo con la presente invención.

20 Modo(s) para llevar a cabo la invención

25 La presente invención se describirá con respecto a realizaciones particulares y con referencia a ciertos dibujos, pero la invención no está limitada a los mismos excepto salvo por las reivindicaciones. Los dibujos descritos solo son esquemáticos y no limitantes. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos puede ser exagerado y no estar representado a escala para fines ilustrativos. Las dimensiones y dimensiones relativas no corresponden a reducciones reales a la práctica de la invención.

Los siguientes términos se proporcionan únicamente para ayudar en la comprensión de las invenciones.

- Capacidad de carga máxima ( $F_m$ ): la mayor carga que soporta la fibra de acero durante un ensayo de tracción;
- 30 - Alargamiento a carga máxima (%): aumento de la longitud de referencia de la fibra de acero a la fuerza máxima, expresada como porcentaje de la longitud de referencia original;
- Alargamiento a la fractura (%): aumento de la longitud de referencia en el momento de la fractura, expresado como un porcentaje de la longitud de referencia original;
- Resistencia a la tracción ( $R_m$ ): tensión correspondiente a la carga máxima ( $F_m$ );
- 35 - Tensión: fuerza dividida por el área de sección transversal original de la fibra de acero;
- Dosis: cantidad de fibras añadidas a un volumen de hormigón (expresado en  $\text{kg/m}^3$ ).

40 Para ilustrar la invención, una serie de diferentes fibras de acero, fibras de acero de la técnica anterior y fibras de acero dentro de la presente invención se someten a una serie de ensayos diferentes:

- Un ensayo de tracción (ensayo de carga-deformación); y
- Un ensayo de extracción (ensayo de carga-desplazamiento).

45 El ensayo de tracción se aplica sobre la fibra de acero, más en particular sobre la porción media de la fibra de acero. Como alternativa, el ensayo de tracción se aplica sobre el cable utilizado para fabricar la fibra de acero.

El ensayo de tracción se utiliza para determinar la capacidad de carga máxima  $F_m$  de la fibra de acero y para determinar el alargamiento a carga máxima  $A_{g+e}$ .

50 El ensayo de extracción se aplica sobre la fibra de acero incrustada con un extremo en el hormigón o el mortero. El ensayo de extracción se utiliza para medir la fuerza de anclaje de una fibra de acero al hormigón o mortero y además puede utilizarse para determinar el desplazamiento absoluto de la fibra de acero incrustada en el hormigón o el mortero.

55 Los ensayos se ilustran en la Figura 1 y Figura 2 respectivamente.

60 La Figura 1 muestra una configuración de ensayo 60 para medir el alargamiento de fibras de acero adaptadas para el refuerzo de hormigón. Los extremos de anclaje (por ejemplo, los extremos ensanchados o en forma de gancho) de la fibra de acero a analizar se cortan primero. La porción media restante 14 de la fibra de acero se fija entre dos pares de abrazaderas 62, 63. A través de las abrazaderas 62, 63 se ejerce una fuerza de tracción creciente  $F$  sobre la porción media 14 de la fibra de acero. Se mide el desplazamiento o el alargamiento como resultado de esta fuerza de tracción creciente  $F$  midiendo el desplazamiento de los agarres 64, 65 del extensómetro.  $L_1$  es la longitud de la porción media de la fibra de acero y es, por ejemplo, de 50 mm, 60 mm o 70 mm.  $L_2$  es la distancia entre las abrazaderas y es, por ejemplo, de 20 mm o 25 mm.  $L_3$  es la longitud del manómetro del extensómetro y es de 10 mm como mínimo, por ejemplo, de 12 mm, por ejemplo, de 15 mm. Para un agarre mejorado del extensómetro a la

porción media 14 de la fibra de acero, la porción media 14 de la fibra de acero puede revestirse o se puede recubrir con una cinta delgada para evitar el deslizamiento del extensómetro sobre la fibra de acero. Mediante este ensayo se registra una curva de carga-alargamiento.

5 El porcentaje de alargamiento total a la carga máxima se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$A_{g+e} = (\text{Extensión a carga máxima} / \text{Longitud de referencia del extensómetro } L_3) \times 100$$

10 Con la ayuda de la configuración de ensayo 60, la fibra de acero dentro de la presente invención se ha comparado con un número de fibras de acero de la técnica anterior disponibles en el mercado en cuanto a la carga de rotura  $F_m$ , la resistencia a la tracción  $R_m$  y el alargamiento total a carga máxima  $A_{g+e}$ . Se han realizado cinco pruebas por espécimen. La Tabla 1 resume los resultados.

Tabla 1

Tipo de fibra	Diámetro (mm)	$F_m$ (N)	$R_m$ (MPa)	$A_{g+e}$ (%)
Técnica anterior 1	0,90	879 ± 8	1382 ± 12	1,37 ± 0,07
Técnica anterior 2	1,0	911 ± 14	1160 ± 18	1,86 ± 0,24
Técnica anterior 3	1,0	1509 ± 12	1922 ± 15	2,36 ± 0,19
Técnica anterior 4	1,0	873 ± 10	1111 ± 13	1,95 ± 0,21
Técnica anterior 5	1,0	1548 ± 15	1972 ± 19	1,99 ± 0,27
Técnica anterior 6	1,0	1548 ± 45	1971 ± 58	2,33 ± 0,29
Técnica anterior 7	0,75	533 ± 19	1206 ± 43	2,20 ± 0,24
Técnica anterior 8	0,9	751 ± 29	1181 ± 46	2,16 ± 0,13
Técnica anterior 9	0,77	1051 ± 20	2562 ± 44	1,88 ± 0,15
Fibra en la invención	0,89	1442 ± 3	2318 ± 4	5,06 ± 0,32

15 Solo la fibra dentro de la invención tiene un alargamiento a una carga máxima superior al 4 %.

La Figura 2 ilustra una configuración de ensayo para medir el anclaje de una fibra de acero al hormigón. Una fibra de acero 12 está anclada en su extremo en un cubo de hormigón 20. El cubo 20 está fabricado de un hormigón convencional. El cubo de hormigón 20 descansa sobre una plataforma 22 con un agujero central 24 a través del cual se extiende la fibra de acero 12. La plataforma 22 está sostenida por unas barras 26 que forman una jaula alrededor del cubo 20. El otro extremo de la fibra de acero 12 se corta y se fija en las abrazaderas 28. Las abrazaderas 28 ejercen un desplazamiento sobre la fibra de acero 12 hasta que la fibra de acero 12 se rompe o se extrae del cubo 20. Se registra un desplazamiento de fuerza o un diagrama de desplazamiento de carga.

25 La Figura 3a muestra una curva de carga-deformación de la fibra de acero 32 de la técnica anterior y la fibra de acero de acuerdo con la presente invención 36.

30 Las curvas de carga-deformación se obtienen sometiendo las fibras de acero a un ensayo como se describe en la Figura 1.

La fibra de acero de la técnica anterior tiene una carga máxima  $F_m$  algo superior a 800 Newton. Esta carga máxima  $F_m$  es equivalente a una resistencia a la tracción  $R_m$  de aproximadamente 1200 MPa. El alargamiento a carga máxima  $A_{g+e}$  de la fibra de acero de la técnica anterior es relativamente baja, en particular inferior al 2,0 %.

35 Cuando se compara la curva de carga-deformación 36 de una fibra de acero de acuerdo con la presente invención con las curvas de carga-deformación 32 de las fibras de acero de la técnica anterior, se observan dos diferencias:

40 En primer lugar, la carga máxima  $F_m$  es superior a 1400 Newton, es decir, mucho mayor que la carga máxima  $F_m$  de la fibra de la técnica anterior de la curva 32.

En segundo lugar, el alargamiento a carga máxima  $A_{g+e}$  también es mucho mayor que el alargamiento a carga máxima  $A_{g+e}$  de la fibra de la técnica anterior de la curva 32. El alargamiento a carga máxima  $A_{g+e}$  de la fibra de acero de acuerdo con la presente invención es superior al 2,5 %, o incluso superior al 3,0 % o 4,0 %.

45 La Figura 4a, Figura 4b y Figura 4c muestran realizaciones de fibras de acero dentro de la presente invención.

La Figura 4a muestra una fibra de acero 400 que tiene una porción media 404 y dos extremos de anclaje 402. Los extremos de anclaje 402 son extremos ensanchados. La porción media 404 entre los dos extremos de anclaje 402 son por ejemplo rectos o rectilíneos. La sección transversal de la porción media 404 por ejemplo es esencialmente circular o redonda. El diámetro o espesor de la porción media 404 oscila preferentemente entre 0,4 y 1,2 mm. La relación de longitud a diámetro de la porción media 404 está situada, por razones prácticas y económicas, principalmente entre 40 y 100.

50 Los extremos de anclaje 402 son extremos ensanchados que en esencia están configurados cónicamente para mejorar el anclaje de la fibra de acero 400 al material de matriz del hormigón que se ha de reforzar.

La Figura 4b muestra otra fibra de acero 410 que tiene una porción media 414 y dos extremos 412. La porción media 414 es recta. La sección transversal de la porción media 414 puede ser redonda o ligeramente aplanada. Los dos extremos de anclaje 412 son extremos ensanchados, más en particular extremos ensanchados que están en forma de gancho y posiblemente también aplanados de acuerdo con la citada patente EP-B1-851957.

La Figura 4c muestra una realización adicional de una fibra de acero 420 dentro de la presente invención que tiene una porción media 424 y dos extremos de anclaje 422. La porción media 424 está ondulada. Los extremos de anclaje 422 también están ondulados. La ondulación de la porción media 424 y de los extremos de anclaje 422 puede ser igual o diferente.

Las fibras de acero 400, 410 y 420 preferentemente tienen una resistencia a la tracción entre 1000 y 3000 MPa, más preferentemente entre 1400 MPa y 3000 MPa, por ejemplo entre 1600 MPa y 3000 MPa.

Las fibras de acero dentro de la invención se pueden fabricar como sigue. El material de partida es un cable con un diámetro de, por ejemplo, 5,5 mm o 6,5 mm y una composición de acero que tiene un contenido de carbono mínimo del 0,50 por ciento en peso (% en peso), por ejemplo, igual o superior al 0,60 % en peso, un contenido de manganeso que oscila del 0,20 % en peso al 0,80 % en peso, un contenido de silicio que oscila entre el 0,10 % en peso y 0,40 % en peso. El contenido de azufre es como máximo del 0,04 % en peso y el contenido de fósforo es como máximo del 0,04 % en peso.

Una composición de acero típica comprende el 0,725 % de carbono, el 0,550 % de manganeso, el 0,250 % de silicio, el 0,015 % de azufre y el 0,015 % de fósforo. Una composición de acero alternativa comprende el 0,825 % de carbono, el 0,520 % de manganeso, el 0,230 % de silicio, el 0,008 % de azufre y el 0,010 % de fósforo. El alambón se estira en frío en una serie de etapas de estiramiento hasta que su diámetro final oscila entre 0,20 mm y 1,20 mm.

Para dar a la fibra de acero su gran alargamiento a la rotura ya la carga máxima, el cable así estirado se puede someter a un tratamiento de alivio de la tensión, por ejemplo pasando el cable a través de una bobina de inducción de alta frecuencia o de frecuencia media de una longitud adaptada a la velocidad de paso del cable. Se ha observado que el tratamiento térmico a una temperatura de aproximadamente 300 °C durante un cierto período de tiempo da como resultado una reducción de la resistencia a la tracción en aproximadamente el 10 % sin aumentar el alargamiento a la rotura y el alargamiento a carga máxima. Sin embargo, al aumentar ligeramente la temperatura a más de 400 °C se observa una disminución adicional de la resistencia a la tracción y al mismo tiempo un aumento en el alargamiento a la fractura y un aumento en el alargamiento a carga máxima.

Los cables pueden estar o no revestidos con un recubrimiento resistente a la corrosión tal como un recubrimiento de zinc o de aleación de zinc, más en particular un recubrimiento de aluminio y zinc o un recubrimiento de zinc, aluminio y magnesio. Antes de estirar o durante el estirado, los cables también se pueden revestir con un recubrimiento de cobre o una aleación de cobre para facilitar la operación de estirado.

Los cables sometidos a alivio de la tensión a continuación se cortan a las longitudes apropiadas de las fibras de acero y los extremos de las fibras de acero reciben el anclaje apropiado. El corte y la conformación de gancho también se pueden realizar en una misma operación mediante rodillos apropiados.

Las fibras de acero así obtenidas pueden estar o no encoladas juntas de acuerdo con el documento US-A-4284667. Además o como alternativa, las fibras de acero obtenidas se pueden poner en un paquete de cadena de acuerdo con el documento EP-B1-1383634 o en un paquete similar a una correa tal como se describe en la solicitud de patente europea con el número de solicitud 09150267.4 del Solicitante.

**REIVINDICACIONES**

1. Una estructura de hormigón de un hormigón convencional, definiéndose el hormigón convencional como hormigón con una resistencia a la compresión inferior a 75 MPa, comprendiendo dicha estructura de hormigón fibras de acero (400) que tienen una porción media (404) y dos extremos (402), teniendo dicha porción media (404) de dicha fibra de acero (400) un diámetro que varía entre 0,4 mm y 1,20 mm y una relación de longitud/diámetro L/D de 40 a 100, siendo dichos dos extremos (402) extremos de anclaje para anclar dicha fibra de acero (400) a dicho hormigón, estando dichos extremos de anclaje seleccionados del grupo que consiste en extremos aumentados que están configurados cónicamente (402), extremos de recalcado en frío, extremos doblados, extremos ondulados o cualquier combinación de los mismos, teniendo dicha porción media (404) de dicha fibra de acero (400) una resistencia a la tracción  $R_m$  de al menos 1000 MPa, caracterizado por que dicha porción media (404) de la fibra de acero (400) tiene un alargamiento a carga máxima  $A_{g+e}$  que es al menos del 4 %, estando dicho alargamiento a carga máxima  $A_{g+e}$  definido como el alargamiento de dicha porción media de dicha fibra de acero a la carga máxima que dicha porción media de dicha fibra de acero puede resistir en un ensayo de tracción.
2. Una estructura de hormigón de acuerdo con la reivindicación 1, en la que dicha porción media (404) de dicha fibra de acero (400) tiene una resistencia a la tracción  $R_m$  de al menos 1400 MPa.
3. Una estructura de hormigón de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en la que dicha porción media (404) de dicha fibra de acero (400) tiene una resistencia a la tracción  $R_m$  de al menos 2000 MPa.
4. Una estructura de hormigón de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicha porción media (404) de dicha fibra de acero (400) tiene un alargamiento a carga máxima  $A_{g+e}$  de al menos el 5 %.
5. Una estructura de hormigón de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicho alargamiento a carga máxima  $A_{g+e}$  se mide como sigue:
- cortar dichos extremos de anclaje (402);
  - fijar la porción media restante (404) de la fibra de acero (400) entre dos pares de abrazaderas (62, 63);
  - cubrir la porción media (404) de la fibra de acero (400) con una cinta delgada o recubrir la porción media (404) de la fibra de acero (400) para evitar el deslizamiento del extensómetro;
  - aumentar la fuerza de tracción a través de las abrazaderas (62, 63);
  - medir el desplazamiento de los agarres (64, 65) del extensómetro.
6. Una estructura de hormigón de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicha fibra de acero (400) tiene un contenido de carbono mínimo de 0,50 por ciento en peso, un contenido de manganeso que oscila de 0,20 por ciento en peso a 0,80 por ciento en peso, un contenido de silicio que oscila de 0,10 por ciento en peso a 0,40 por ciento en peso, siendo un contenido de azufre máximo de 0,040 por ciento en peso y un contenido de fósforo máximo de 0,04 por ciento en peso, estando dicha fibra de acero en un estado de alivio de tensión.
7. Una estructura de hormigón de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicha estructura de hormigón tiene una resistencia residual media después de la fisuración a ULS superior a 4 MPa con una dosificación de dichas fibras de acero (400) inferior a 40 kg/m<sup>3</sup>.

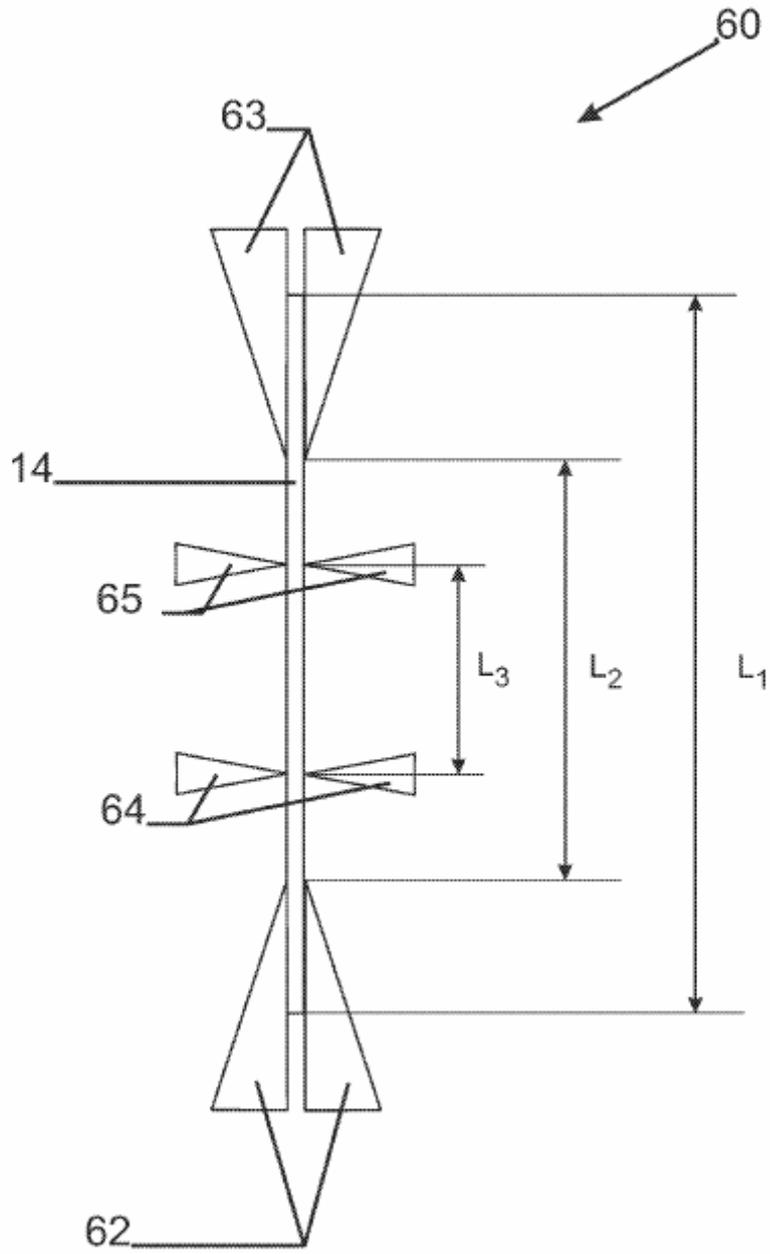


Fig. 1

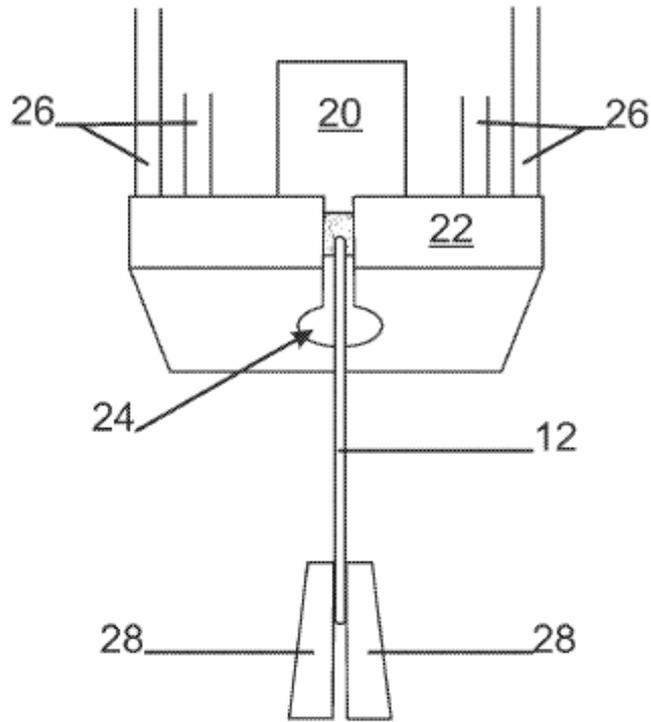


Fig. 2

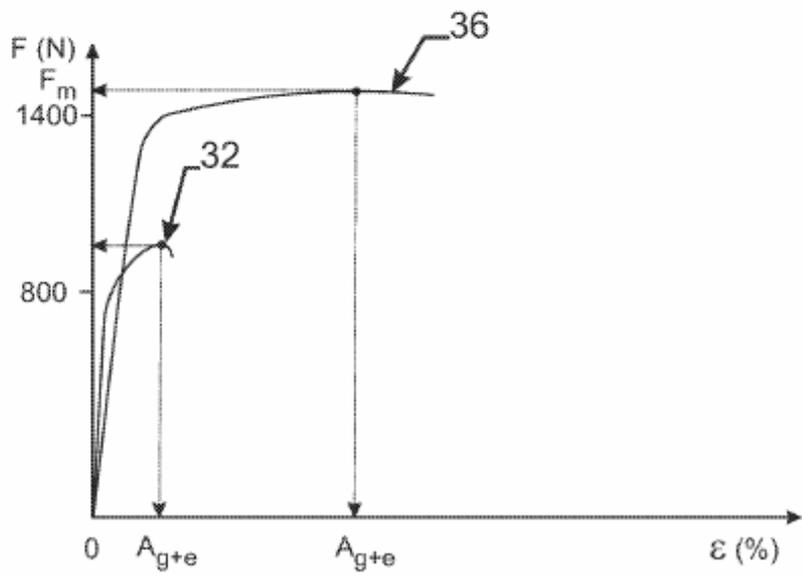


Fig. 3

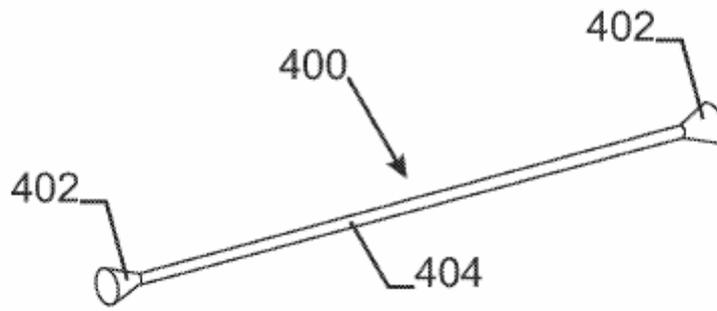


Fig. 4a

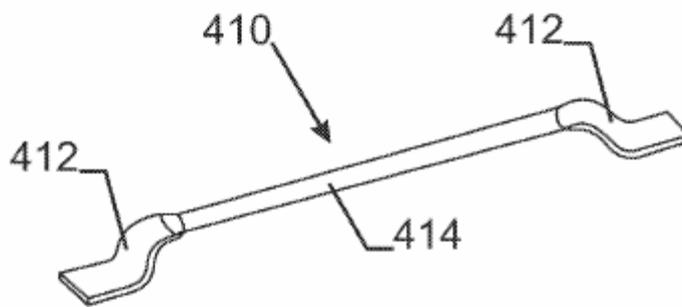


Fig. 4b

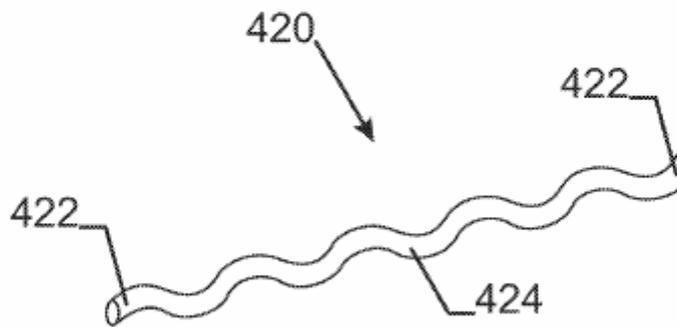


Fig. 4c